

DOI: 10.12264/JFSC2022-0245

扇贝“红墨 1 号”生长性状遗传参数和 F5 遗传获得估计

展建强¹, 张元¹, 王春德³, 姚高友¹, 张柯馨¹, 卢怡凝¹, 刘志刚^{1,2}

1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088;
2. 广东省海产无脊椎动物科技创新中心, 广东 湛江 524088;
3. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003

摘要: 为评估扇贝新品系“红墨 1 号”的选育效果, 在同一养殖海域、相同管理模式以及相同养殖周期下, 以墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)与扇贝“渤海红”杂交子代, 经连续 4 代继代选育获得的扇贝新品系“红墨 1 号”为基础, 在 F4 中开展继代选育与不选育对比研究, 比较了二者群体生长存活情况的差异, 并对 F5 生长性状遗传参数和遗传获得进行评估。结果表明, “红墨 1 号”F5 选育系各生长性状明显优于非选育系($P < 0.05$), 但二者的存活率在各阶段无显著性差异($P > 0.05$); “红墨 1 号”F5 两群体质量性状变异系数为 14.60%~28.30%, 仍具有选育潜力; “红墨 1 号”F5 壳长、壳高、壳宽、体重、闭壳肌重、软体重和壳重等性状遗传获得分别为 7.25%、7.13%、4.86%、25.42%、31.60%、27.70%和 21.29%; “红墨 1 号”壳长、壳高、壳宽、体重、闭壳肌重、软体重和壳重现实遗传力分别为 0.37、0.36、0.25、0.36、0.32、0.38 和 0.32, 均属中等遗传力。综上, 对扇贝“红墨 1 号”选育效果显著, F5 仍具有继续选育的空间。研究结果为扇贝“红墨 1 号”生长性状的进一步选育提供依据。

关键词: 扇贝“红墨 1 号”; 遗传获得; 现实遗传力; 变异系数; 继代选育

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)02-0150-09

墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)原产自美国大西洋沿岸, 为海湾扇贝(*A. irradians irradians*)亚种之一, 1991 年中国科学院海洋研究所从美国引进墨西哥湾扇贝^[1], 并于 2001 年在北部湾海域获得大面积养殖成功^[2-3]。随着养殖世代的增加, 种质退化现象逐渐显露, 表现为稚贝育成率低、抗逆性差、生长速度减缓、存活率下降等^[4], 严重影响产业的健康发展, 对其开展遗传改良迫在眉睫。紫扇贝(*Argopecten purpuratus*)是原产于南太平洋的一种速生型中型扇贝, 广泛养殖于智利和秘鲁^[5], Wang 等^[6]于 2008 年从秘鲁引进紫扇贝并与海湾扇贝杂交, 培育出扇贝“渤海红”(scallop “Bohai Red”)新品种,

与海湾扇贝相比, 扇贝“渤海红”在生长上表现出较高的杂种优势^[7], 但因其高温耐受性差^[8], 无法在南方北部湾海域推广养殖。为解决墨西哥湾扇贝种质退化和扇贝“渤海红”高温敏感性问题, 2016 年广东海洋大学课题组将墨西哥湾扇贝与扇贝“渤海红”进行杂交^[9], 成功获得杂交子代, 经过培育, 于 2020 年获得扇贝新品系“红墨 1 号”。扇贝“红墨 1 号”生长速度快, 存活率高, 耐高温且适合北部湾海域养殖, 具有良好的推广养殖前景, 未来可取代已退化的墨西哥湾扇贝养殖品种, 促进南方扇贝养殖产业健康可持续发展。

遗传参数估计是水产动物遗传改良的一项基础性工作, 遗传力和遗传获得是反映性状遗传能

收稿日期: 2022-09-04; 修订日期: 2022-11-04.

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B020238002); 广东省贝藻类产业技术体系创新团队项目(2021KJ146, 2022KJ146); 2020 年省级乡村振兴战略专项资金(渔业产业发展)(粤财农〔2020〕4); 南海经济动物种质创新与利用创新团队项目(2021KCXTD026).

作者简介: 展建强(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为贝类遗传育种与增养殖. E-mail: 871067230@qq.com.

通信作者: 刘志刚, 教授, 研究方向为. E-mail: Liuzg919@126.com.

力大小的基本参数, 其估计值的大小及准确性直接影响育种效率的高低^[10]。目前有关贝类遗传参数估计的研究有很多, 如李炼星等^[11]通过对缢蛏(*Sinonovacula constricta*)生长性状遗传参数进行分析, 发现现实遗传力为中等, 选育系 F5 有继续选育潜力; 时嘉赓等^[12]对皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)各生长性状遗传力进行分析, 遗传力在 0.35~0.40, 表明这些性状仍有选育潜力, 可为新品系提供依据; 李家乐等^[13]以野生缢蛏为基础群体对相关性状进行遗传获得和现实遗传力分析, 选育系 F5 壳长和体重遗传获得分别为 6.67%、10.63%, 验证了 F5 为遗传稳定的选育新品种。在新品种继代选育过程中, 对相关性状进行遗传参数分析和遗传获得估计, 可推测其选育潜力, 确保后续选育工作效果得到改良^[14]。关于扇贝“红墨 1 号”的研究多集中在耐受性^[15]、生长性能^[16]和分子标记^[17]等, 从遗传角度分析扇贝“红墨 1 号”选育进展尚未见报道。扇贝“红墨 1 号”经连续多代选育, 其生长性状遗传力大小, 各生长性状的遗传参数是否发生变化, F5 遗传获得大小, 是否还具有继续选育潜力等问题的答案对于制定育种工作计划至关重要。

本研究在扇贝“红墨 1 号”连续 4 代选育的基础上, 以生长为目标性状, 对扇贝“红墨 1 号”F4 继续选育, 估测扇贝选育系 F5 群体生长性状的遗传参数及遗传获得, 旨在为评估“红墨 1 号”选育潜力, 为扇贝“红墨 1 号”进一步选育和推广提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

墨西哥湾扇贝为北部湾海域养殖群体, 扇贝“渤海红”为山东引进, 两群体均通过对壳长大小排序后, 取前 50 个, 二者混合交配得到杂种, 对杂种后代进行继代选育, 选育目标为壳色橙黄的个体, 并在壳色橙黄个体中通过对壳长大小排序后取前 50 个, 2016 年得选育系 F1, 2017 年得选育系 F2, 2018 年得选育系 F3, 2019 年得选育系 F4。

2020 年从选育系 F4 群体中, 选择 1000 个壳

色橙黄且性腺发育好、活力强、贝壳完整的个体作为亲贝, 测量壳长并对其进行大小排序后取前 50 个个体, 作为繁育群体, 进行混合受精获得选育系 F5 (记为“选 F5”); 同时从 F4 养殖群体中随机抽取 50 个壳色橙黄且性腺成熟个体, 进行混合受精获得后代(记为“非选 F5”), 作为对照组, 两个群体的亲本的规格见表 1。以选育与不选育的后代在相同环境下作对比, 从而消除环境因素的影响^[18-19]。两个群体的亲本的规格及选择差见表 1。

表 1 扇贝“红墨 1 号”F5 亲本规格及选择差
Tab. 1 Parental specicential and selection difference of scallop “Hongmo No.1”

n=50; $\bar{x} \pm SD$			
性状 trait	“选 F5”亲本 “F5 selected line” parents	“非选 F5”亲本 “F5 non-selected line” parents	选择差 selection difference
壳长/mm shell length	61.96±1.04	52.32±3.78	9.64
壳高/mm shell height	58.71±0.98	49.38±3.63	9.33
壳宽/mm shell width	27.62±0.71	23.31±2.42	4.31
体重/g body weight	34.78±1.62	21.47±3.32	13.31
软体重/g soft tissue weight	12.93±1.03	8.16±0.99	4.77

注: “选 F5”和“非选 F5”分别代表选育系 F5 和非选育系 F5。
Note: “Selected F5” and “non-selected F5” represent the selected line F5 and non-selected line F5, respectively.

1.2 育苗与养成

2020 年 3 月 1 日, 对扇贝“红墨 1 号”选育与非选育繁育群体进行催产, 每群体设 3 个 10 m³育苗池作为平行组, 调整各池浮游幼虫密度为 2.5 ind/mL, 按扇贝常规育苗法育苗, 4 月 21 日育出壳长约 1.0 mm 的“选 F5”与“非选 F5”棕绳苗各一批。稚贝分别采用 80 目网袋, 按 1 条绳/袋下海进行一级中培, 其中各取 3 条绳精确统计数量后装袋并做好标记, 用于统计本阶段存活率; 5 月 5 日结束一级中培, 将平均壳长为 5.28 mm 的“选 F5”稚贝及平均壳长为 4.43 mm 的“非选 F5”稚贝分别移入 40 目网袋进行二级中培, 密度 500 粒/袋; 5 月 24 日, “选 F5”平均壳长为 14.04 mm, “非

选 F5”平均壳长为 11.09 mm, 分别移入网孔 8 mm、10 层/笼的中培笼, 按 200 粒/层密度进行三级中培; 6 月 4 日, “选 F5”稚贝的平均壳长达到 22.22 mm, “非选 F5”平均壳长达到 16.85 mm, 分别移入套网笼(1.0 cm 套网、2.5 cm 网目养成笼、10 层/笼)养成, 密度 50 粒/层, 套网在贝苗壳长达到 30 mm 以上时被撕掉。本次实验的选育群体与非选育群体的亲贝促熟、培育与养成的条件保持一致。9 月 25 日结束实验。

1.3 数据测量

在不同阶段, 同时、同点对“选 F5”与“非选 F5”两个群体进行取样, 每个群体设置 3 个重复组, 各重复组独立统计存活率, 然后各随机取 60 个样品, 使用电子游标卡尺测量扇贝形态性状, 包括壳长、壳高、壳宽, 精确到 0.01 mm; 使用电子天平测量扇贝的体重和闭壳肌重, 精确到 0.01 g。存活率、变异系数、现实遗传力、当代遗传获得计算公式如下:

阶段存活率(%)=阶段结束存活总数/阶段初始总数×100%;

各阶段累积存活率(%)=当前阶段与之前各阶段存活率的乘积;

变异系数=各性状标准差/对应性状均值×100%;

各性状现实遗传力^[20]:

$$h^2=R/S=(S_t-S_0)/S$$

式中, R 为选择反应, 它是选择亲本的子代与非选择亲本的子代平均表型值之差; S 为选择差, 为选择与非选择亲本某性状平均值的改变量, S_t 和 S_0 分别代表选育群体和非选育群体的子代表型均值。

各性状当代遗传获得:

$$G_G=R/S_0\times100\%$$

式中, G_G 为当代遗传获得, 即选择反应 R 占非选择亲本子代平均表型值 S_0 的百分增量。

1.4 数据处理

实验数据采用平均值±标准差($\bar{x}\pm SD$)表示, 利用 Excel 2016 统计软件整理数据, SPSS 23.0 统计软件对数据进行处理, 统计分析方法为方差分析(ANOVA), 采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 选育系“红墨 1 号”F5 的选择反应、现实遗传力和遗传获得

扇贝“红墨 1 号”各生长性状的选择反应、现实遗传力和遗传获得见表 2, 体重性状相较于壳尺性状具有最大选择反应和最大现实遗传力, 分别为 4.82 和 0.38; 不同性状选择反应范围为 0.67~4.82, 平均值为 2.49, 各性状现实遗传力范围为 0.25~0.38, 平均值为 0.34, 均属中等遗传力; 除壳宽遗传获得较低, 其他生长性状遗传获得范围为 7.13%~31.60%, 7 个性状平均水平为 18.0%。

表 2 扇贝“红墨 1 号”F5 选育系的选择反应、现实遗传力和遗传获得

Tab. 2 Genetic gains, realized heritability and response to selection of the F5 selected line of scallop “Hongmo No.1”

性状 trait	选择反应 selective reaction	现实遗传力 realized heritability	遗传获得/% genetic gain
壳长/mm shell length	3.6	0.37	7.25
壳高/mm shell height	3.36	0.36	7.31
壳宽/mm shell width	1.09	0.25	4.86
体重/g body weight	4.82	0.38	25.42
闭壳肌重/g adductor muscle weight	0.67	0.32	31.60
软体重/g soft tissue weight	1.82	0.38	27.70
壳重/g shell weight	2.08	0.32	21.29

2.2 “选 F5”与“非选 F5”存活率比较

“选 F5”与“非选 F5”存活率在各实验阶段均无显著性差异($P>0.05$); 在种苗下海的第一阶段(4 月 21 日—5 月 5 日), “选 F5”与“非选 F5”的存活率均较低, 分别为 54.58%和 54.26%, 其他阶段的存活率较高, 均超过 95% (图 1a)。两群体在一级中培早期出现大量死亡, 随个体生长存活率趋于稳定, 未出现断崖式或者急剧死亡的现象(图 1b)。

2.3 “选 F5”与“非选 F5”生长比较

由图 2 可知, “选 F5”与“非选 F5”稚贝在 7 月中旬到 8 月初生长速度缓慢, 应为夏季水温过高导致生长停滞的原因; 从稚贝出池(4 月 21 日)开始, 两组稚贝进入快速生长期, 至 8 月底壳尺生长速度开始降低, 逐渐进入养成阶段, 体重增长

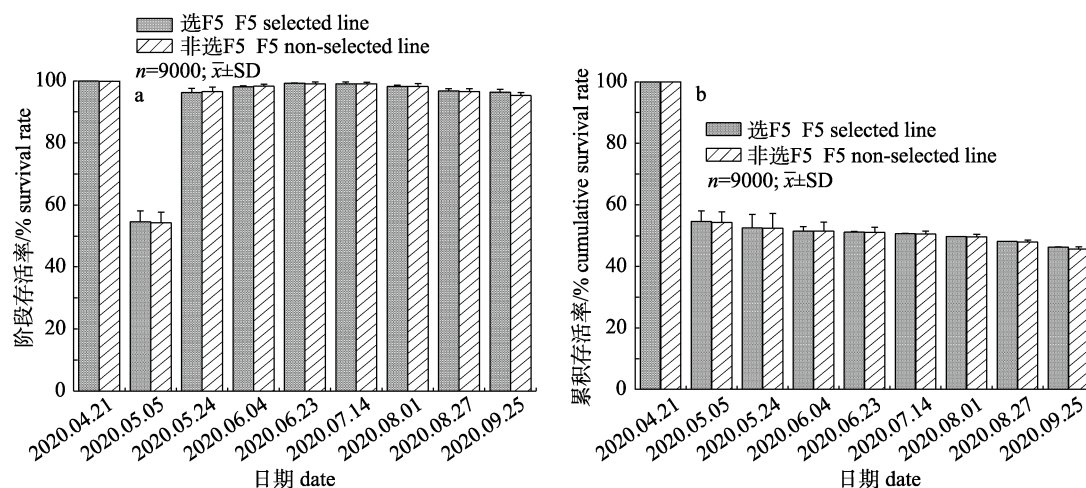


图 1 扇贝“红墨 1 号”选育系 F5 和非选育系 F5 各阶段存活率(a)和累积存活率(b)变化对比

“选 F5”和“非选 F5”分别表示选育系 F5 和非选育系 F5。

Fig. 1 Stage survival curve (a) and cumulative survival curve (b) of selected line F5 and non-selected line F5 of scallop “Hongmo No.1”

“Selected F5” and “non-selected F5” indicate selected line F5 and non-selected line F5, respectively.

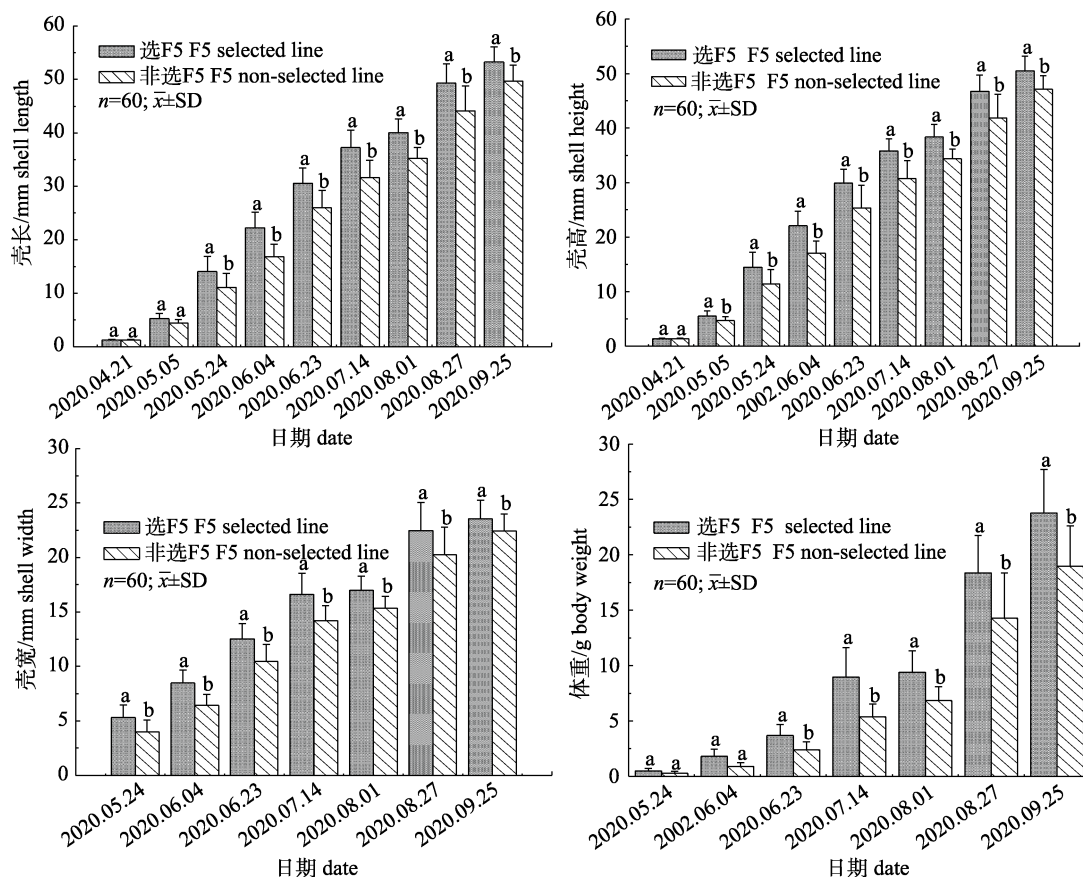


图 2 扇贝“红墨 1 号”选育系 F5 与非选育系 F5 壳尺和体重生长

“选 F5”和“非选 F5”分别表示选育系 F5 和非选育系 F5。

同一指标, 在同一时期, 字母相同表示差异不显著($P>0.05$); 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 2 Growth of shell size and body weight of selected line F5 and non-selected line F5 of scallop “Hongmo No.1”

“Selected F5” and “non-selected F5” indicate selected line F5 and non-selected line F5, respectively.

For the same index in the same period, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$);

different letters mean significant difference ($P<0.05$).

速度虽有所减小,但仍是快速生长趋势,此时能量多供给性腺发育。“选 F5”与“非选 F5”的壳长、壳高和壳宽生长,在稚贝出池时(4 月 21 日)无显著性差异($P>0.05$),但在 5 月到 9 月中培育和养成各阶段,均表现显著差异($P<0.05$)。

2.4 “选 F5”和“非选 F5”生长性状的表型参数

“选 F5”与“非选 F5”两群体生长性状的平均值、标准差和变异系数见表 3,“选 F5”与“非选 F5”两群体的壳长、壳高和壳宽的变异系数较小,为 5.19%~6.86%,相比之下,体重、闭壳肌质量、软体重和壳质量的变异系数较高,为 14.60%~28.30%,仍具有一定遗传改良的潜力。

表 3 扇贝“红墨 1 号”选育系 F5 和非选育系 F5 生长性状的表型参数

Tab. 3 Phenotypic parameters of growth-related traits of selected line F5 and non-selected line F5 of scallop “Hongmo No.1”

性状 trait	组别 group	平均值 mean±SD	变异系 数/% CV
壳长/mm shell length	SS	53.28±2.82	5.29
	NS	49.68±3.00	6.04
壳高/mm shell height	SS	50.48±2.62	5.19
	NS	47.12±2.49	5.28
壳宽/mm shell width	SS	23.54±1.60	6.80
	NS	22.45±1.54	6.86
体重/g body weight	SS	23.78±3.92	16.48
	NS	18.96±3.65	19.31
闭壳肌重/g adductor muscle weight	SS	2.79±0.78	27.96
	NS	2.12±0.60	28.30
软体重/g soft tissue weight	SS	8.39±1.81	21.57
	NS	6.57±1.52	23.14
壳重/g shell weight	SS	11.85±1.73	14.60
	NS	9.77±1.48	15.15

注: SS 和 NS 分别表示选育系 F5 和非选育系 F5。

Note: SS and NS indicate selected line F5 and non-selected line F5, respectively.

3 讨论

3.1 “红墨 1 号”选育系 F5 遗传参数分析

遗传力是遗传改良过程中至关重要的遗传参数,遗传力估计对遗传育种具有重要指导意义。国内外对贝类性状遗传力评估的报道有很多, Hadley 等^[21]对硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)群体壳长进行现实遗传力分析,两个群体的现实遗

传力一致且较高,为 0.42 ± 0.10 和 0.43 ± 0.06 ; Ibarra 等^[22]对扇贝总重和壳宽双重选择后实现的遗传力进行分析,得到扇贝总重现实遗传力为 $0.33\pm0.08\sim0.59\pm0.13$ 。相比之下,选育系“红墨 1 号”各性状现实遗传力为 0.25~0.38,稍低。Hadley 等^[21]认为,大多数双壳贝类的遗传力在 0.2~0.5 之间,一般认为,具有 0.2 以上的遗传力值的性状都有选择效果^[22];遗传力的大小可分为 3 级,大于 0.4 为高遗传力,0.2~0.4 之间属于中遗传力,小于 0.2 为低遗传力^[23],选育系“红墨 1 号”各性状应属于中遗传力,表明对扇贝“红墨 1 号”生长性状的选育是可行的。在这些性状中,壳长、壳高、体重的遗传力基本相同,可能与 3 个性状基因紧密连锁有关。壳宽遗传力在各性状中最低,可能与壳宽易受环境变化影响有关,如高温期扇贝壳生长受抑制,会带来壳宽的增长,表现出与壳长生长的不同步。刘志刚等^[14]开展了墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代影响的研究,壳高、壳长和体重的现实遗传力分别为 0.52、0.49 和 0.40,这些遗传力明显高于选育系“红墨 1 号”,这种差异可能与前者经过多代近交,纯合度较高,而后者是由前者与“渤海红”杂交选育培育的后代,存在较高的杂合度,使性状遗传过程受环境因子变化影响较大有关。因此种间杂交育成新品种所需选育的代数要比种内选育要多。

3.2 “选 F5”与“非选 F5”的生长和存活

本研究对“红墨 1 号”F4 群体采用选育与非选育的方式培育后代,结果表明, F5 选育系各生长性状明显优于非选育系,表明对“红墨 1 号”选育效果明显;两种方式培育出的后代,存活率在各阶段均无显著性差异($P>0.05$)(图 1),这种现象可能与选育系历经 4 代选育,每代均历经夏季高温胁迫及其他恶劣环境淘汰,余下个体抗逆性均较强有关,而与个体大小无关。黄亚楠等^[24]对墨西哥湾扇贝选育系和对照系生长性能进行对比实验,结果表明选育系在存活率上体现出明显优势。封杰等^[25]研究墨西哥湾扇贝选育系幼虫和稚贝的生长,在存活率上选育系显著大于对照系。彭张明^[26]对墨西哥湾扇贝新品系 F6 开展了进一步选择育种研究,结果表明新品系 F7 存活率相比

非选育对照组具有明显优势。上述研究均得出选育系存活率高于非选育系普通群体的结论, 与本研究“选F5”与“非选F5”存活率差异不显著的结论不一致, 究其原因, 前者对照组均为非选育普通群体, 其存活率均未被选育, 不足以支撑存活率达到选育系的水平, 本研究“非选F5”与F4均经过多代选育, 经济性状均较优良, 足以支撑其存活率与“选F5”持平, 因而存活率没有显著性差异。因此, 对扇贝“红墨1号”F4进行壳色和体长的选育不会对后代存活率有显著性影响。

3.3 “红墨1号”生长性状表型参数

变异系数是衡量各指标值变异程度的一个统计量。一般来说, 在遗传上变量值越高, 其遗传变异程度越大, 反之越小。孙龙芳等^[27]对翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)体重进行选育效果评估, 翘嘴鲌F5选育系的体重变异系数仍有14.86%, 仍具有一定选育潜力。陆维^[28]对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)各生长性状进行遗传育种分析, 得出体重的变异系数为0.30。本研究中两群体体重性状具有较高的变异水平, 变异系数为14.60%~28.30%。壳尺3个生长性状与质量性状变异系数相差均较大, 质量性状变异系数为壳尺性状变异系数的2~5倍, 表明质量性状在个体间差异显著, 可继续对其进行选育。

3.4 扇贝“红墨1号”继代选育的遗传获得

在选择育种过程中, 群体存在较高的遗传变异水平, 是群体选育的关键前提^[29]。研究表明, 利用选育技术对水产动物进行遗传改良, 每代可取得10%~20%的遗传获得^[30]。刘旭东等^[31]对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)进行家系选育, 结果表明牙鲆第二代全长和体重遗传获得分别为11.25%和10.36%, 显示出良好的选育效果; Ponzoni等^[32]对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)体重性状进行了6代选择, 平均每代遗传获得为10%; 张嘉晨等^[33]对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性状的遗传参数估计和遗传获得进行评估, 研究估算凡纳滨对虾生长性状的遗传获得为7.22%~11.07%。本研究中, F5壳长、壳高、壳宽、体重、闭壳肌质量、软体重和壳重等性状当代遗传获得分别为7.25%、7.13%、4.86%、25.42%、31.60%、

27.70%和21.29%, 其中, 除壳宽性状遗传获得较低, 其他生长性状遗传获得为7.13%~31.60%, 表明经4代选育后, 对“红墨1号”生长性状的选育效果显著。本研究7个性状遗传获得平均水平为18.0%, 与每代取得10%~20%遗传获得结论相符, 表明“红墨1号”F4群体尽管经过4代壳长选育, 仍存在较大选育空间, 但F5选育空间还有多大, 需通过F6的遗传获得对其选育效果进行评估, 亦可为后续选育提供理论参考。

4 结论

本研究通过比较分析扇贝“红墨1号”F5选育系和F5非选育系生长情况, 发现选育系具有生长更快的优势, 对F4开展继续选育有效, 但两群体存活率没有显著差异; 选育系与非选育系在7—8月高温环境下生长速度均受到了影响, 但都没有出现大规模或急剧死亡的现象, 表明扇贝“红墨1号”已适应北部湾海域的高温环境。对扇贝“红墨1号”F5各表型参数进行分析, 质量性状变异系数仍较大, 选育系F5仍具有继续选育的空间; 进一步对“红墨1号”各性状遗传参数和遗传获得进行了评估, 发现各性状均属中等遗传力, 7个性状平均遗传增益为18.0%, 遗传改良效果显著。本研究可为“红墨1号”继续选育提供基础材料。

参考文献:

- [1] Zhang F S, He Y C, Qi L X, et al. Introduction and spat-rearing of the F1 generation of *Argopecten irradians concentricus* say[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1994, 25(4): 372-377. [张福绥, 何义朝, 亓铃欣, 等. 墨西哥湾扇贝的引种和子一代苗种培育[J]. *海洋与湖沼*, 1994, 25(4): 372-377.]
- [2] Zhang F S, He Y C, Yang H S. Introduction engineering of bay scallop and its comprehensive effects[J]. *Engineering Science*, 2000, 2(2): 30-35. [张福绥, 何义朝, 杨红生. 海湾扇贝引种工程及其综合效应[J]. *中国工程科学*, 2000, 2(2): 30-35.]
- [3] Guo X M. Use and exchange of genetic resources in molluscan aquaculture[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2009, 1(3-4): 251-259.
- [4] Liu Z G, Wang H, Zheng Y L. The effect of parental selection on inbred first filial generation of *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007,

- 31(4): 443-451. [刘志刚, 王辉, 郑云龙. 墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(4): 443-451.]
- [5] González M L, Pérez M C, López D A. Breeding cycle of the northern scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) in southern Chile[J]. Aquaculture Research, 2002, 33(11): 847-852.
- [6] Wang C D, Liu B Z, Li J Q, et al. Introduction of the Peruvian scallop and its hybridization with the bay scallop in China[J]. Aquaculture, 2011, 310(3-4): 380-387.
- [7] Nan L H, Zhang J S, Feng W, et al. Inter-specific hybridization between *Argopecten purpuratus* and *Argopecten irradians concentricus*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(20): 131-135. [南乐红, 张金盛, 丰玮, 等. 紫扇贝和墨西哥湾扇贝种间杂交的初步研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(20): 131-135.]
- [8] Wang C D, Liu B, Ma B, et al. Scallop “Bohai Red”[J]. China Fisheries, 2016(8): 72-77.
- [9] Yao G Y, Tan J, Wu Y Y, et al. Genetic analysis of *Argopecten irradians concentricus*, “Bohai red” and their hybrids[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 118-126. [姚高友, 谭杰, 吴羽媛, 等. 墨西哥湾扇贝和扇贝“渤海红”及其杂交子代的遗传分析[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 118-126.]
- [10] Gjedrem T, Baranski M. Selective Breeding in Aquaculture: An Introduction[M]. Dordrecht: Springer, 2009.
- [11] Li L X, Li H, Du W J, et al. Growth comparison and selective breeding of a fifth-generation selected line of *Sinonovacula constricta*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 50-56. [李炼星, 李浩, 杜文俊, 等. 缢蛏选育系 F5 的生长优势比较及育种效应分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 50-56.]
- [12] Shi J G, Feng Y W, Zhao H F, et al. A comparison of growth traits and a analysis of genetic parameters among green eggs families of *Haliotis discus hannai*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2019(6): 83-89. [时嘉赓, 冯艳微, 赵海峰, 等. 皱纹盘鲍绿卵家系生长性状比较与遗传参数分析[J]. 海洋湖沼通报, 2019(6): 83-89.]
- [13] Li J L, Shen H D, Niu D H, et al. Cricket “shenzhe No.1”[J]. China Fisheries, 2019(8): 81-84.
- [14] Xing D, Li Q, Zhang J X. Estimates of genetic parameters for growth and shell color traits in the white-shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 26-33. [邢德, 李琪, 张景晓. 壳白长牡蛎品系生长和壳色性状遗传参数估计[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 26-33.]
- [15] Yao G Y. Genetic and stress resistance analysis of diallel cross between *Argopecten irradians concentricus* and “Bohai red”[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2019: 29-35. [姚高友. 墨西哥湾扇贝杂交育种及杂交子代高温耐受性与遗传特征分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2019: 29-35.]
- [16] Su X Y. Basic analysis of production performance and high temperature resistance of new strain of hybrid scallop “Zihaimo” F3[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2020: 6-17. [苏晓盈. 扇贝“紫海墨”杂交新品系 F3 生产性能及其耐高温基础解析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020: 6-17.]
- [17] Tan J. Transcriptome analysis of *Argopecten irradians concentricus* and study on the molecular markers of its progeny crossed with *Argopecten* “Bohaihong”[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2018: 28-40. [谭杰. 墨西哥湾扇贝转录组分析及其与扇贝“渤海红”杂交 F1 代分子标记研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2018: 28-40.]
- [18] Zheng H P, Zhang G F, Liu X, et al. Sustained response to selection in an introduced population of the hermaphroditic bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819)[J]. Aquaculture, 2006, 255(1-4): 579-585.
- [19] Zheng H P, Zhang G F, Liu X, et al. Different responses to selection in two stocks of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819)[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 313(2): 213-223.
- [20] Sheng Z L, Chen Y S. Quantitative Genetics[M]. Beijing: Science Press, 2001, 173-178. [盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 173-178.]
- [21] Hadley N H, Dillon R T, Manzi J J. Realized heritability of growth rate in the hard clam *Mercenaria mercenaria*[J]. Aquaculture, 1991, 93(2): 109-119.
- [22] Ibarra A M, Ramirez J L, Ruiz C A, et al. Realized heritabilities and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in Catarina scallop (*Argopecten ventricosus*)[J]. Aquaculture, 1999, 175(3-4): 227-241.
- [23] Fan Z T. Aquatic animal breeding[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2014. [范兆廷. 水产动物育种学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2014.]
- [24] Huang Y N, Wang W J, Wei Y H, et al. Comparison in growth of F7 generation of *Argopecten irradians concentricus* in Beibu Gulf, Guangxi, China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(5): 1222-1231. [黄亚楠, 王文杰, 魏钰恒, 等. 墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*) 选育系 F7 在广西北部湾海域的生长比较研究[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(5): 1222-1231.]
- [25] Feng J, Zhao N Q, Zheng Y C, et al. Early development and growth of a selective line of *Argopecten irradians concentricus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(2):

- 336-345. [封杰, 赵乃乾, 郑宇辰, 等. 墨西哥湾扇贝选育系早期发育与生长[J]. 中国水产科学, 2018, 25(2): 336-345.]
- [26] Peng Z M. Selective breeding and culture of new *Argopecten irradians concentricus* line[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015: 41-48. [彭张明. 墨西哥湾扇贝新品系的选择育种及养殖[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015: 41-48.]
- [27] Sun L F, Li J, Liang X F, et al. Evaluation on selective breeding effect of *Siniperca chuatsi*[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(13): 114-118. [孙龙芳, 李姣, 梁旭方, 等. 翘嘴鲈 F3~F5 群体选育效果分析[J]. 广东农业科学, 2014, 41(13): 114-118.]
- [28] Lu W. Application of the analysis and evaluation system for molluscan genetical breeding[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011: 26-39. [陆维. 贝类遗传育种分析评估系统的应用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 26-39.]
- [29] Ma A J, Wang X A, Huang Z H, et al. Response to selection and realized heritability for early growth in the second-generation bred line of turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(1): 57-61. [马爱军, 王新安, 黄智慧, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)家系选育 F2 早期选择反应和现实遗传力估计[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(1): 57-61.]
- [30] Gjerdem T. Genetic improvement of cold-water fish species[J]. Aquaculture Research, 2000, 31(1): 25-33.
- [31] Liu X D, Liu Z P, Wang Y N, et al. Analysis of one generation selective breeding on growth parameters of *Paralichthys olivaceus*[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(4): 548-555. [刘旭东, 刘志鹏, 王亚楠, 等. 对牙鲆进行一代选择之后的育种效果分析[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(4): 548-555.]
- [32] Ponzoni R W, Hamzah A, Tan S, et al. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Aquaculture, 2005, 247(1-4): 203-210.
- [33] Zhang J C, Cao F J, Liu J Y, et al. Estimation on genetic parameters and genetic gain in growth and hypoxic tolerance traits of *Litopenaeus vannamei*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(4): 869-875. [张嘉晨, 曹伏君, 刘建勇, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长和耐低溶氧性状的遗传参数估计和遗传获得评估[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(4): 869-875.]

Estimation of genetic parameters of growth traits and genetic gain of F5 generation of scallop “Hongmo No. 1”

ZHAN Jianqiang¹, ZHANG Yuan¹, WANG Chunde³, YAO Gaoyou¹, ZHANG Kexin¹, LU Yining¹, LIU Zhigang^{1,2}

1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Guangdong Marine Invertebrate Science and Technology Innovation Center, Zhanjiang 524088, China;

3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academic of Sciences, Yantai 264003, China

Abstract: *Argopecten irradians concentricus*, natively distributed along the Atlantic coast of the United States, has advantages of fast growth, short growth cycle, and high meat yield. It was introduced into China mainland in 1991 and in 2001 its large-scale aquaculture began in the Beibu Gulf area. More than 20 years since the introduction of *A. irradians concentricus*, as the number of breeding generations increased, the characteristics of the breeding population deteriorated seriously reflected in small individuals, low survival rates, and low meat yields. To solve the problem of germplasm degradation of *A. irradians concentricus*, this research team hybridized *A. irradians concentricus* with the scallop “Bohai Red” in 2016, and successfully obtained hybrid offspring. After four generations of breeding, a new strain of scallop “Hongmo No. 1” was obtained. “Hongmo No. 1” has the characteristics of a fast growth rate, high survival rate, and high temperature resistance, and has completely adapted to the environment of Beibu Gulf in the south of China, so it has a good prospect of popularization and breeding. Although “Hongmo No. 1” has been bred for multiple generations, the genetic parameters of its growth-related traits are unknown and whether it still has breeding potential is unclear. As a result of successive selection in a closed population, genetic parameters varied between different generations of selected strains. Obtaining estimates of genetic parameters and genetic gain of growth-related traits of scallop “Hongmo No. 1”, which has experienced numerous generations of selection, is of great significance for subsequent breeding. To evaluate the breeding effect of the new scallop strain “Hongmo No. 1”, this study compared the selected line and a non-selected line in the F4 generation of “Hongmo No. 1” and evaluated the genetic parameters and genetic gain of F5 growth-related traits. The results indicated that in the F5 generation of “Hongmo No. 1” there was no significant difference in the survival rate between the selected line and the non-selected line ($P>0.05$), but the growth traits of the selected line were significantly better than those of the non-selected line ($P<0.05$). The coefficients of variation of quality traits of the two populations of “Hongmo No. 1” F5 were 14.60%–28.30%, showing potential for successive selective breeding. The genetic gain of shell length, shell height, shell width, body weight, adductor muscle weight, soft tissue weight, and shell weight in the F5 generation were 7.25%, 7.13%, 4.86%, 25.42%, 31.60%, 27.70%, and 21.29%, respectively. The realized heritability of shell length, shell height, shell width, body weight, adductor muscle weight, soft tissue weight, and shell weight in the F5 generation were 0.37, 0.36, 0.25, 0.36, 0.32, 0.38, and 0.32, respectively, which are moderate levels of heritability. The results of this study showed that the growth traits of the selected line were better than those of the non-selected line, both of which showed a large coefficient of variation for quality traits, moderate mean genetic gain, and medium realized heritability. These results indicate that the genetic improvement of *A. irradians concentricus*, using first hybridization and then sub-breeding, has achieved good results. These results provide a basis for further breeding of growth traits in scallop “Hongmo No. 1”.

Key words: scallop “Hongmo No. 1”; genetic gain; realized heritability; coefficient of variation; generation breeding

Corresponding author: LIU Zhigang. E-mail: Liuzg919@126.com